

PENENTUAN KETINGGIAN KEGAGALAN TAMBAKAN CUBAAN MUAR

Fauziah Kasim, M.Sc

Aminaton Marto, Ph.D

Mohd Zain Yusof, M.Sc

Mohd Khatta Marwah, B.Eng

Fakulti Kejuruteraan Awam

Universiti Teknologi Malaysia

81300 UTM-Skudai, Johor

Tel : 07-5533333 Samb. 31581/86 Faks : 07-5566157

E-mail: fauziahkasim@utm.my

ABSTRAK

Penentuan ketinggian tambakan ketika gagal merupakan langkah yang perlu diambil perhatian ketika merekabentuk tambakan di atas tanah liat lembut. Di dalam kertas kerja ini, perisian SLOPE/W telah digunakan dalam menganalisis kestabilan tambakan di mana kaedah keseimbangan had umum (GLE) telah dipilih sebagai perbandingan terhadap kaedah konvensional lain seperti Fellenius, Bishop dan Janbu. Faktor lain yang diambil kira di dalam analisis ini adalah teknik penentuan kekuatan ricih tak tersalir yang digunakan dalam mewakili keadaan tanah liat asas. Kaedah keseimbangan had umum (GLE) telah menunjukkan keputusan yang amat baik dalam meramal faktor keselamatan dan gelinciran permukaan kegagalan. Perbandingan dengan ramalan-ramalan terdahulu juga dilakukan. Dua faktor utama yang perlu diambil kira dalam menganalisis kestabilan tambakan di bawah tanah liat lembut ialah kesan pertambahan kekuatan di dalam tanah liat lembut dan enapan permukaan asal tanah akibat proses pengukuhan yang berlaku. Kedua-dua faktor ini memberikan kesan yang besar terhadap faktor keselamatan dan juga ketebalan sebenar tambakan yang diramal.

PENGENALAN

Bagi merekabentuk tambakan di atas tanah liat lembut, analisis kestabilan merupakan salah satu langkah rekabentuk yang perlu diambil perhatian. Penentuan ketinggian maksimum ketika gagal penting dalam menyediakan amaran awal dalam kerja-kerja pembinaan tambakan. Oleh itu, adalah penting untuk menentukan kaedah analisis kestabilan yang sesuai supaya dapat meramal dengan tepat. Dalam perkembangan terkini, analisis kestabilan terhadap tambakan yang dibina untuk gagal pada tanah lembut dapat menguji teori-teori kekuatan tanah lembut seperti yang telah diperkenalkan oleh Bjerrum (1972), Bjerrum (1973), Tavenas dan Leroueil (1980), Brand dan Shen (1984), dan Ladd (1991).

Beberapa kaedah analisis kestabilan telah diperkenalkan berdasarkan teori keseimbangan had seperti Fredlund and Krahn (1977) dan Espinoza et al (1992). Walau bagaimanapun, bagi tambakan di atas tanah liat lembut, kaedah Bishop dipermudah (Bishop, 1955) yang berdasarkan keseimbangan momen adalah yang biasa digunakan. Selain itu, kaedah berdasarkan kedua-dua keseimbangan iaitu momen dan daya seperti kaedah Morgensten dan Price (1965) juga telah diguna secara meluas. Perkara penting yang perlu diberi perhatian dalam analisis kestabilan adalah penentuan kekuatan jisim tanah. Faktor lain bagi analisis tambakan di atas tanah liat lembut adalah enapan permukaan ketika pembinaan yang menyebabkan ketinggian tambakan sebenar berbeza dengan ketebalan awal tambakan.

OBJEKTIF KAJIAN

Objektif utama kajian ini ialah menentukan kestabilan cerun jangka pendek bagi tujuan rekabentuk tambakan di atas tanah liat lembut. Sehubungan itu, objektif-objektif spesifik kajian ini ialah:

1. Menentukan kekuatan tak tersalir tanah liat lembut yang digunakan sebagai input bagi analisa kestabilan cerun tambakan.
2. Membandingkan hasil kajian kestabilan cerun jangka pendek dengan ramalan pengkaji-pengkaji terdahulu bagi kajian kes tambakan cubaan Muar.

KEKUATAN RICIH TAK TERSALIR

Berdasarkan parameter kekuatan yang digunakan, analisis kestabilan boleh diklasifikasikan kepada analisis tegasan jumlah, kekuatan tak tersalir dan tegasan berkesan (Ladd, 1991). Menurut Brand dan Premchitt (1989), analisis tegasan berkesan adalah lebih boleh dipercayai dalam merekabentuk tambakan stabil berbanding pandangan oleh Parry (1971) dan Simon (1976). Bagi tambakan di atas tanah liat lembut, analisis kekuatan ricih tak tersalir adalah lebih hampir keadaannya dengan yang sebenar. Ini kerana tambakan gagal berlaku dalam keadaan jangka masa pendek, yang sama dengan keadaan kekuatan ricih tak tersalir, c_u . Walaupun begitu, kekuatan ricih tak tersalir tanah liat lembut boleh meningkat disebabkan pengukuhan yang berlaku dengan masa (Ladd, 1991). Beberapa kaedah untuk menentukan kekuatan ricih tak tersalir telah diperkenalkan seperti Bjerrum (1972), Bjerrum (1973), Mesri et al (1975), dan Ladd (1991).

Kekuatan Ricih Bilah In-situ

Kekuatan ricih bilah in-situ biasa digunakan di dalam amalan praktik. Ujian ricih bilah boleh mengurangkan gangguan pada keadaan semulajadi dan dilakukan di bawah keadaan tegasan in-situ. Tetapi penghadan perlu dilakukan untuk menyamai proses kegagalan tambakan sebenar seperti kekuatan tak isotrofi, kadar terikan dan sebagainya. Oleh itu, nilai kekuatan ricih bilah in-situ yang digunakan dalam analisis kestabilan cerun harus menggunakan faktor pembetulan seperti yang dicadangkan oleh Bjerrum (1972).

Ujian Makmal

Ujian tiga paksi takterkukuh taktersalir (UU) dan terkukuh tak tersalir isotrofik (CIU) biasa digunakan di dalam praktik untuk menentukan kekuatan ricih tak tersalir tanah. Walau bagaimanapun, ujian ini tidak dapat menyamai keadaan sebenar di tapak dengan baik. Sebagai mengatasi permasalahan ini, Norwegian Geotechnical Institute (Bjerrum, 1973) dan teknik SHANSEP (Ladd dan Foot, 1977) telah memperkenalkan kaedah teknik mampatan semula yang mengambil kira sejarah tegasan, tak isotropik dan kesan laluan tegasan. Penggunaan kaedah ini memerlukan sampel tanah yang berkualiti tinggi dan maklumat lengkap tentang sejarah tegasan bagi sample-sample tersebut. Walau bagaimanapun, teknik SHANSEP tidak boleh digunakan pada tanah liat berstruktur tinggi sebab mampatan yang melebihi tekanan pengukuhan pasca-maksimum boleh merosakkan struktur sesuatu sampel tanah.

Persamaan Empirik

Kekuatan ricih pada keadaan genting berhubung terus dengan pra-penguksuhan, σ'_p , yang mana $c_u = f(\sigma'_p)$ berdasarkan prinsip alahan dan keadaan genting. Selepas menganalisis semula kerja Bjerrum (1972), Mesri et al (1975) telah merumuskan

$$c_u = \alpha \sigma'_p = 0.22 \sigma'_p \quad (1)$$

Semasa proses penguksuhan berlaku, kekuatan ricih tanah meningkat. Oleh itu,

$$c_u = \alpha_e \sigma'_{vl} = 0.25 \sigma'_{vl} \geq \alpha \sigma'_p \quad [6] \quad (2)$$

dengan σ'_{vl} adalah tegasan tegak berkesan yang telah meningkat.

ANALISIS KESTABILAN TAMBAKAN CUBAAN MUAR

Bagi mengkaji ketinggian maksimum ketika gagal, satu daripada tambakan cubaan Muar telah dibina secara berterusan sehingga ia gagal. Ia dikenali sebagai Tambakan Binaan Untuk Gagal. Beberapa ramalan berkaitan tinggi maksimum kegagalan telah dibuat oleh pengkaji terdahulu, antaranya, Balasubramaniam et al (1989), Magnan (1989), Nakase dan Takemura (1989), dan Poulos et al (1989). Semua peramal ini telah menggunakan kaedah Fellenius dengan pelbagai kaedah penentuan parameter kekuatan ricih tanah liat dan tambakan.

Di dalam kajian ini, program SLOPE/W telah digunakan untuk menganalisis kestabilan cerun berdasarkan teori keseimbangan had umum (*GLE -General Limit Equilibrium*) bersama kaedah Fellenius, Bishop dan Janbu, sebagai perbandingan. Teori keseimbangan had umum ini mempunyai kesamaan dengan teori Morgenstern-Price (1965), kecuali ia menggunakan “*best-fit regression*” untuk menyelesaikan faktor keselamatan dan lambda, λ , berbanding kaedah numerikal oleh Morgenstern dan Price seperti berikut;

$$X = E\lambda f(x) \quad (3)$$

yang mana

X = daya ricih hirisan

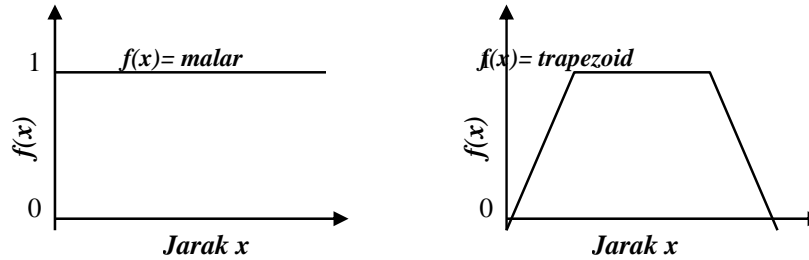
E = daya normal hirisan

λ = peratusan (dalam titik perpuluhan) rumus $f(x)$ yang digunakan

$f(x)$ = rumus bagi daya-daya antara-hirisan yang mewakili arah relatif daya paduan bagi daya-daya antara-hirisan berkaitan

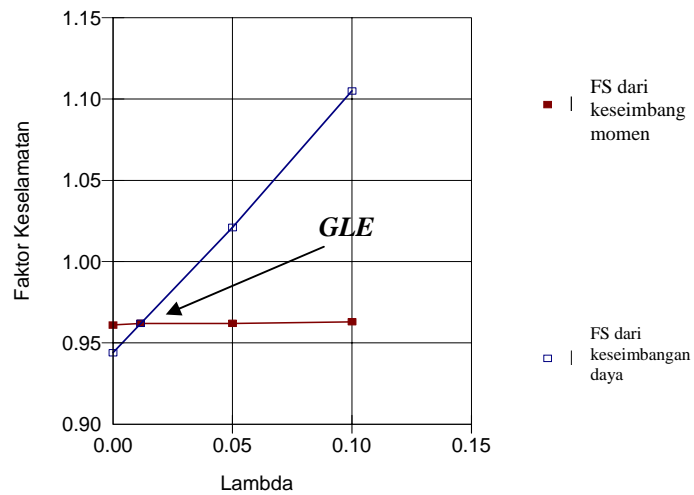
x = jarak ufuk bagi geometri sesuatu cerun

Hubungan rumus $f(x)$ yang dipilih bergantung kepada keadaan atau sifat tanah dan cerun yang dianalisa serta kaedah analisa yang digunakan. Anggapan hubungan $f(x)$ yang berbeza inilah yang membezakan antara satu kaedah analisa kestabilan cerun dengan kaedah yang lain. Dua contoh hubungan $f(x)$ ialah seperti yang ditunjukkan pada Rajah 1.



Rajah 1 Dua contoh hubungan bagi $f(x)$.

Kelebihan kaedah *GLE* ialah ia dapat menghubungkan faktor keselamatan yang dikira berdasarkan keseimbangan momen (Bishop) dengan yang dikira berdasarkan keseimbangan daya (Janbu tak diperbetulkan) seperti yang ditunjukkan di Rajah 2.



Rajah 2 Penentuan faktor keselamatan dengan fungsi lambda, λ .

Latar Belakang Tambakan

Tambakan binaan untuk gagal ini dibina terus di atas tanah semulajadi. Tambakan ini telah dipadat pada lapisan 0.2 m pada kadar normal 0.4 m per minggu sehingga didapati gagal. Bahan tambak adalah dari granit terurai (pasir 50%, tanah liat 38%). Pada peringkat permulaan, tambakan dibina dengan dimensi dasar 55 m lebar dan 90 m panjang pada ketebalan 2.5 m. Kemudian, tanggaa selebar 15 m dibiarkan pada 3 bahagian sisi dan tambakan seterusnya dibina sehingga gagal dengan ketebalan tambak 5.4 m (Brand, 1991).

Pemilihan Parameter Kekuatan Tanah

Daripada kajian literatur yang dibuat, ciri-ciri indeks tanah liat Muar pada tapak ujian adalah seperti di Jadual 1 (Chai et al, 1994). Keterangan lengkap yang lain bagi tambakan ujian ini telah diberikan oleh Brand dan Premchitt (1989) dan Brand (1991). Berat unit bagi tanah liat adalah hampir tetap mengikut kedalaman dengan perbezaan seperti yang ditunjukkan di Jadual 2. Profil kekuatan ricih tak tersalir yang diperolehi dari ujian tiga paksi ditunjukkan pada Rajah 3. Manakala taburan kekuatan ricih bilah bagi semua ujian dan nilai tekanan prapenguhan, P_c ditunjukkan pada Rajah 4.

Unit berat bahan tambak adalah 20.5 kN/m^3 yang diperolehi dari ujian ketumpatan di tapak. Keputusan daripada ujian tiga paksi tak terkukuh tak tersalir bagi spesimen yang disediakan dari sampel blok bahan tambakan terpadat adalah seperti berikut:

Sudut geseran dalaman, $\phi' = 26^\circ$

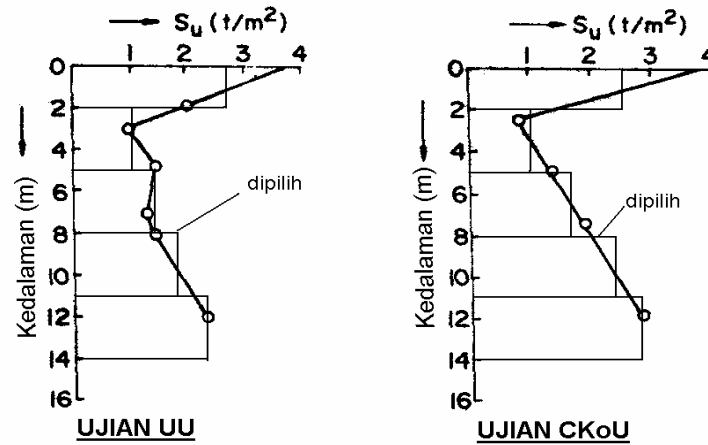
Kejelekitan, $c' = 19 \text{ kN/m}^2$.

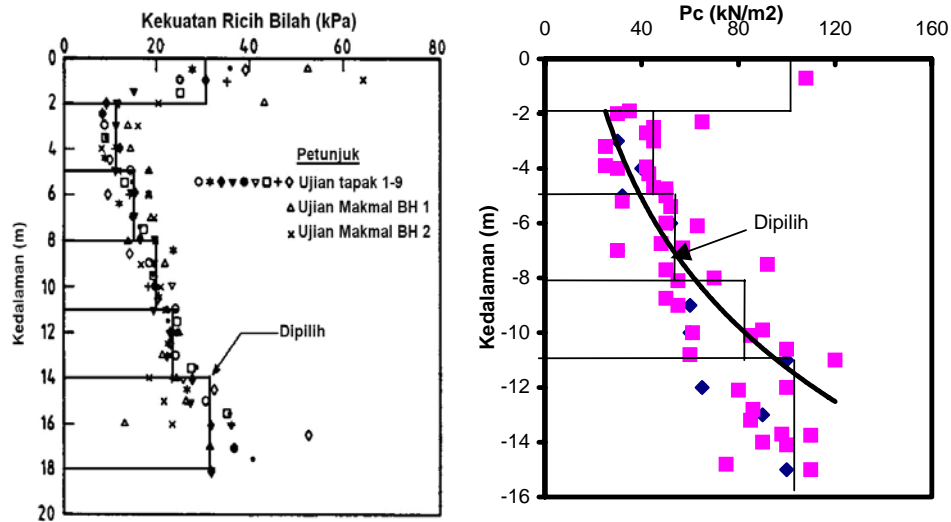
Jadual 1 Profil Dan Ciri-Ciri Indeks Tanah Liat Muar (Chai et al, 1994).

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	Kandungan Air, w (%)	Had Cecair, LL (%)	Indeks Keplastikan, PI (%)	Kandungan Tanah Liat (%)	Kandungan Kelodak (%)
0 - 2	Tanah liat terluluhawa	60 - 80	-	-	62	35
2 - 8	Tanah liat berkelodak sangat lembut	80 - 110	65 - 90	40 - 50	45	52
8 - 12	Tanah liat berkelodak lembut	70 - 100	75 - 90	40 - 50	50	47
12 - 18	Tanah liat berkelodak	55 - 65	58 - 65	30 - 40	50	47
18 - 22					20	36

Jadual 2 Nilai Berat Unit Tanah Mengikut Kedalaman

Kedalaman (m)	0 - 2	2 - 5	5 - 8	8 - 11	11 - 14	14 - 18
Berat unit (kN/m^3)	17	15	15.5	16	16	16

**Rajah 3** Parameter dipilih bagi ujian tiga paksi tak terkukuh tak tersalir (UU) dan terkukuh tak tersalir (CK_oU)



Rajah 4 Parameter Dipilih Bagi (a) Ujian Ricih Bilah Di Tapak; dan (b) Tekanan Prapengukuhan.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Sebanyak 15 siri analisis kestabilan telah dibuat untuk meramal ketinggian maksimum tambakan ketika gagal. Keputusan bagi setiap kaedah analisis dan penentuan parameter yang berbeza ditunjukkan dalam Jadual 3 dan perbandingan taburan faktor keselamatan antara kaedah keseimbangan had umum (GLE) dan Fellenius ditunjukkan pada Rajah 5 dan 6. Daripada rajah tersebut, faktor keselamatan didapati berkurangan dengan pertambahan ketinggian tambakan.

Secara keseluruhan, keputusan ketinggian ramalan yang dibuat menggunakan parameter kekuatan ricih bilah tak diperbetulkan adalah yang terbaik yang mana kaedah Fellenius telah meramal dengan tepat diikuti dengan kaedah GLE. Namun demikian, kedalaman gelinciran permukaan yang diperolehi dari kaedah Fellenius adalah rendah iaitu 5 m berbanding 8 m bagi GLE, iaitu sama dengan sebenar di tapak (Rajah 7). Kedudukan 8 m dari permukaan asal tanah adalah sempadan bagi tanah liat atas dan bawah. Ini menunjukkan permukaan gelinciran berlaku di kawasan yang mempunyai kekuatan yang rendah. Manakala analisis yang menggunakan penentuan parameter lain menunjukkan ramalan yang dibuat adalah

di bawah dari keadaan sebenar. Ini sesuai dengan keadaan di mana kekuatan ricih yang digunakan bagi analisa kestabilan jangka pendek tidak mengambil kira kesan pertambahan kekuatan tanah liat yang akan mengalami pengukuhan yang disebabkan pertambahan beban.

Selain meramal semula ketinggian kegagalan, tambakan pada skala sebenar juga telah dianalisis iaitu dengan mengambil kira kesan ketebalan dan enapan sebenar tambakan. Hasilnya, faktor keselamatan yang diperolehi dari analisis ini adalah seperti di Jadual 4. Keputusan faktor keselamatan bagi tambakan yang dianggap tidak mempunyai kesan retakan didapati lebih dekat dengan keadaan sebenar.

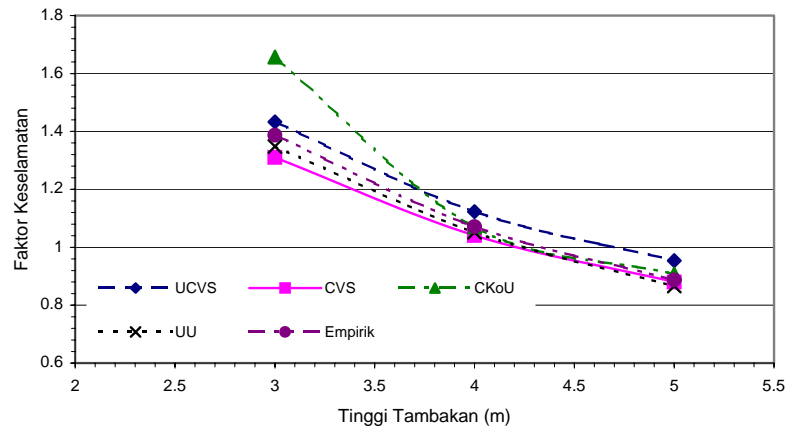
Jadual 3 Keputusan tinggi ramalan bagi setiap kaedah analisis kestabilan dan penentuan parameter yang digunakan.

Penentuan Parameter Tanah Liat	Kaedah Analisis	Faktor Keselamatan			Tinggi Ramalan (m)	Kedalaman Gelinciran (m)	Perbezaan Tinggi Sebenar (%)
		3 m	4 m	5 m			
Ricih Bilah tak dibetulkan	Fellenius	1.433	1.123	0.954	4.70	5.0	0.0
	Bishop	1.399	1.093	0.905	4.45	5.0	5.3
	Janbu	1.438	1.124	0.936	4.62	5.0	1.7
	GLE	1.486	1.169	0.962	4.80	8.0	2.1
Ricih bilah dibetulkan	Fellenius	1.310	1.041	0.880	4.20	5.0	10.6
	Bishop	1.274	0.984	0.822	3.90	5.0	17.0
	Janbu	1.322	1.031	0.845	4.13	8.0	12.1
	GLE	1.358	1.042	0.854	4.18	8.0	11.1
CK_oU	Fellenius	1.657	1.070	0.908	4.23	5.0	10.0
	Bishop	1.326	1.027	0.855	4.10	5.0	12.8
	Janbu	1.361	1.075	0.895	4.37	5.0	7.0
	GLE	1.435	1.119	0.912	4.50	8.0	4.3
UU	Fellenius	1.348	1.052	0.866	4.25	8.0	9.6
	Bishop	1.329	1.021	0.830	4.10	8.0	12.8
	Janbu	1.340	1.033	0.848	4.15	8.0	11.7
	GLE	1.354	1.045	0.856	4.20	8.0	10.6
Persamaan Empirik	Fellenius	1.387	1.071	0.887	4.33	8.0	7.9
	Bishop	1.373	1.045	0.856	4.20	8.0	10.6
	Janbu	1.372	1.057	0.866	4.25	8.0	9.6
	GLE	1.373	1.058	0.875	4.25	8.0	9.6

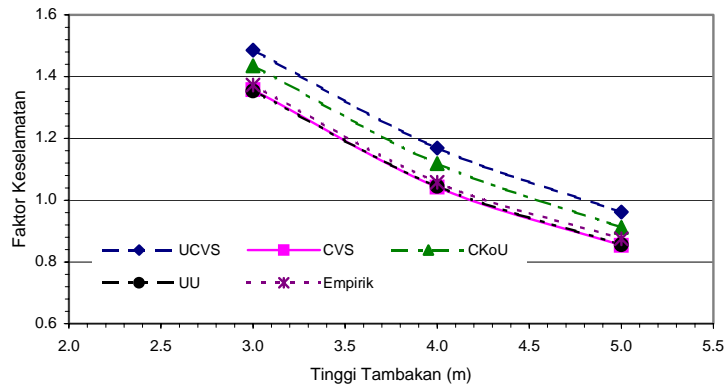
Nota: Semua nilai faktor keselamatan oleh Janbu belum diperbetulkan

Jadual 4 Faktor Keselamatan Bagi Tambakan Pada Skala Sebenar

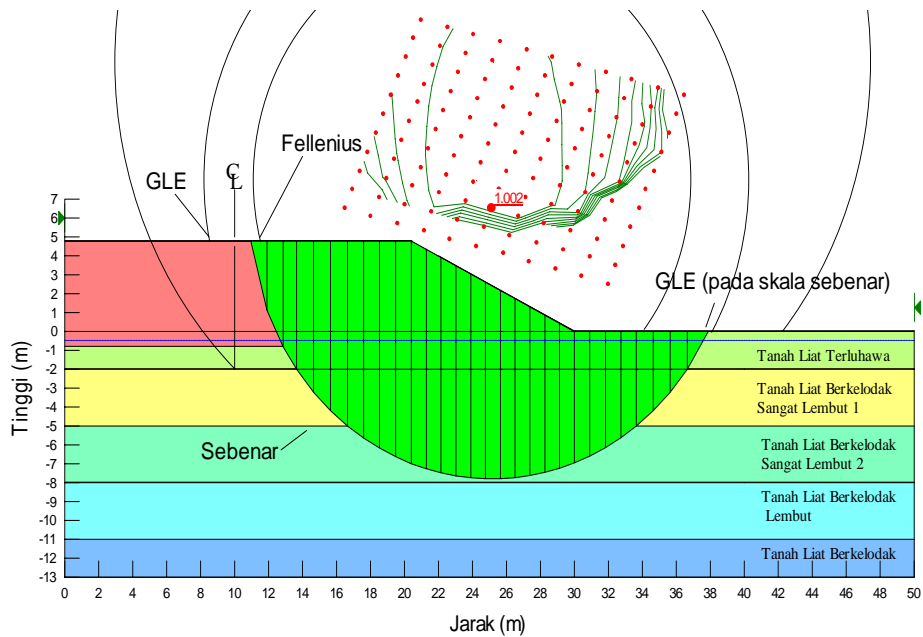
Kesan Retakan	Kaedah	Fellenius	Bishop	Janbu	GLE
	Keputusan				
Ada	Faktor Keselamatan	0.976	0.986	0.983	0.986
	Kedalaman Gelinciran (m)	4.8	4.8	4.8	4.8
Tiada	Faktor Keselamatan	1.006	0.982	0.991	0.986
	Kedalaman Gelinciran (m)	4.8	4.8	7.8	7.8



Rajah 5 Taburan Faktor Keselamatan Bagi Kaedah Keseimbangan Had Umum (GLE).



Rajah 6 Taburan faktor keselamatan bagi kaedah Fellenius.



Rajah 7 Perbandingan lokasi kegagalan gelinciran bagi hasil kajian penulis (iaitu hasil analisis *GLE*), ramalan pengkaji-pengkaji terdahulu dan data dari tapak tambakan cubaan Muar.

KESIMPULAN

Penggunaan perisian SLOPE/W dalam menganalisis kestabilan tambakan cubaan Muar ini telah menunjukkan keputusan yang amat baik. Pilihan pelbagai kaedah analisis dapat menilai keberkesanan ramalan dan mudah membuat perbandingan dengan peramal lain yang menggunakan kaedah tertentu. Di dalam kajian ini, secara keseluruhan, didapati kaedah keseimbangan had umum (GLE) telah menunjukkan keputusan yang amat baik dalam meramal faktor keselamatan dan gelinciran permukaan. Walau bagaimanapun, beberapa faktor perlu diambil kira dalam menganalisis kestabilan tambakan di bawah tanah liat lembut. Antaranya ialah kesan pertambahan kekuatan di dalam tanah liat lembut dan enapan permukaan asal tanah akibat proses pengukuhan yang berlaku. Kedua-dua faktor ini memberikan kesan yang besar terhadap faktor keselamatan dan juga ketebalan sebenar tambakan yang diramal. Bagi kajian, ini, kesan pertambahan kekuatan ricih tidak memberi kesan dengan ketara kerana kajian ini melibatkan kestabilan cerun jangka pendek. Penentuan kekuatan bagi tambakan juga perlu diambil kira. Walaupun keadaan sebenar tambakan cubaan ketika gagal mempunyai retakan tegangan di bahagian tengah, namun ia masih mempunyai kekuatannya sendiri sebelum ia gagal. Ini seterusnya memberikan kesan terhadap faktor keselamatan dan juga kedalaman permukaan gelinciran.

RUJUKAN

- Balasubramaniam, A. S., Phien-Wej, N., Indraratna, B. dan Bergado D. T., Predicted Behaviour of a Test Embankment on Soft Marine Clay, Int. Symposium on Trial Embankments on Malaysian Marine Clays, Kuala Lumpur, Vol. 2, muka surat 1-1 – 1-8, 1989.
- Bishop, A. W., The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slope, Geotechnique, Vol. 5, No. 1, muka surat 7-17, 1955.
- Bjerrum, L., Embankment on soft ground: SOA report, Proc. Speciality Conf. On Performance of Earth and Earth-Supported Structures, ASCE, Vol. 2, muka surat 1-54, 1972.
- Bjerrum, L., Problems of soils mechanics and construction on soft clays: SOA Report, Proc. 8th Int. Conf. On Soil Mech. And Found. Eng., Moscow, U.S.S.R., Vol. 3, muka surat 111-159, 1973.
- Brand, E. W. dan Premchitt, J., Comparison of the Predicted and Observed Performance of the Muar Test Embankment. Int. Symposium on Trial Embankments on Malaysian Marine Clays, Kuala Lumpur, Vol. 2, muka surat 10-1 – 10-29, 1989.

- Brand, E. W. dan Shen, J. M., A Note on the Principle of the Mid-Point Circle, *Geotechnique*, Vol. 34, No. 1, muka surat 123-125, 1984.
- Brand, E. W., Predicted and Observed Performance of an Embankment Built to Failure on Soft Clay, *Geotechnical Engineering*, Vol. 22, No. 1, muka surat 23-42, 1991.
- Chai, J. C., Sakajo, S. dan Miura, N., Stability Analysis of Embankment on Soft Ground (A Case Study), *Soils and Foundation*, Vol. 34, No. 2, muka surat 107-114, 1994.
- Espinoza, R. D., Repetto, P. C., dan Muhunthan, B., General Framework for Stability Analysis of Slopes, *Geotechnique*, Vol. 42, No. 4, muka surat 603-615, 1992.
- Fredlund, D. G. dan Krahn, J., Comparison of Slope Stability Methods of Analysis, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 14, muka surat 429-439, 1977.
- Ladd, C. C. dan Foot, R., Foundation Design of Embankment Constructed on Varved Clays, FHWA TS-77-214, U.S. Dept. of Transportation, Washington, 1977.
- Ladd, C. C., Stability Evaluation during Stage Construction, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 117, No. 4, muka surat 541-615, 1991.
- Leroueil, S., Magnan, J. P. dan Tavenas, F., Embankment on Soft Clay, England, Ellis Horwood, 1990.
- Magnan, J. P., Experience-Base Prediction of the Performance of Muar Flats Trial Embankment to Failure, *Int. Symposium on Trial Embankments on Malaysian Marine Clays*, Kuala Lumpur, Vol. 2, muka surat 2-1 – 2-8, 1989.
- Mesri, G., Rokhsar, A. dan Bohor, B. F., Composition and Compressibility of Typical Samples of Mexico City Clays, *Geotechnique*, Vol. 25, No. 3, muka surat 527-554, 1975.
- Morgenstern, N. R. dan Price, V. E., The Analysis of the Stability of General Slip Surface, *Geotechnique*, Vol. 15, muka surat 70-93, 1965.
- Nakase, A. dan Takemura, J., Prediction of Behaviour of Trial Embankment Built to Failure, *Int. Symposium on Trial Embankments on Malaysian Marine Clays*, Kuala Lumpur, Vol. 2, muka surat 3-1 – 3-13, 1989.
- Parry, R. H. G., Stability Analysis of Low Embankments on Soft Clays, *Proceedings of the Roscoe Memorial Symposium on the Stress-Strain Behaviour of Soils*, Cambridge, muka surat 643-668. 1971.
- Poulos, H. G., Lee, C. Y. dan Small, J. C., Prediction of Embankment Performance on Malaysian Marine Clays, *Int. Symposium on Trial Embankments on Malaysian Marine Clays*, Kuala Lumpur, Vol. 2, muka surat 4-1 – 4-10, 1989.
- Simons, I. F., Assessment and Control of Stability for Road Embankments Constructed on Soft Subsoils. Transport & Road Research Laboratory (UK), Laboratory Report No. 711, muka surat 36, 1976.
- Tavenas, F. dan Leroueil, S., The Behavior of Embankment on Clay Foundation, *Canadian Geotech. Journal*, Vol. 17, No. 2, muka surat 236-260, 1980.